

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Menéndez-Ramos, J. | Iglesias-Martínez, M.E.
Vol.21 No. 2, abril-junio, 2019 p. 193-207.
ISSN 1562-3297
Avances@ciget.vega.inf.cu

Avances

Centro de Información y Gestión Tecnológica

Disminución de las pérdidas técnicas en circuito secundario del JB-287

Decrease of the technical losses in secondary circuit of the JB-287

Jiuvel Menéndez-Ramos¹, Miguel Enrique Iglesias-Martínez²

¹Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Especialista en Redes y Sistemas de la Unidad Empresarial de Base Eléctrica San Juan y Martínez, Pinar del Río, Cuba, jiuvel.m@nauta.cu; ID: <https://orcid.org/0000-0003-3359-4987>

²Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Máster en Sistemas Digitales, profesor Asistentedel Centro de Estudios de Energía de la Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba, mgi@upr.edu.cu; ID: <https://orcid.org/0000-0003-1405-5099>

Para citar este artículo / to reference this article / para citar este artigo

Menéndez-Ramos, J., Iglesias-Martínez, M.E. (2019). Disminución de las pérdidas técnicas en circuito secundario del JB-287. *Avances*, 21(2), 193-207. Recuperado de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/435/1421>

Recibido: diciembre 2018

Aceptado: febrero 2019

RESUMEN

Este resultado tuvo como objeto de estudio el bajo voltaje que presentan los consumidores del circuito secundario del JB-287 ubicado en el poblado de Valle, municipio San Juan y Martínez. A raíz de esta situación, se decide hacer un análisis de las pérdidas en el mismo con la ayuda del software para el Estudio de Circuitos

Secundarios, desarrollado en el Centro de Investigaciones y Pruebas Eléctricas de la Habana. Los resultados obtenidos fijaron los niveles de pérdidas en 8,737 MWh/a representando el 5,3 % y las caídas de voltaje en 15,9 V en el punto más crítico, ambos por encima de lo establecido en la legislación vigente en el país. También se

evalúan desde el punto de vista técnico una serie de acciones para poder aplicar las más indicadas que den las mayores disminuciones de los parámetros afectados. El mejor resultado lo obtuvo la combinación de División de Circuito, Cambio de Calibre, Completamiento de Fase y Balanceo, que reducen las pérdidas y caídas de voltaje en 4,601 MW h/a y 11 V respectivamente. Desde el punto de vista del ahorro en Toneladas Equivalentes de Petróleo o Toneladas de petróleo, se ahorran aproximadamente como promedio 1,692 o 1,782 por cada año de los 10 con que cuenta el estudio. Esta reducción en el consumo de petróleo trae aparejado que se dejen de emitir 3 289,71 kg de gases tóxicos a la atmósfera, contribuyendo de forma positiva con el cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: energía, pérdidas, caídas de voltaje, disminución, ahorro.

ABSTRACT

This result had as object of study the low voltage that presents the consumers of the secondary circuit of the JB-287 located in the town of Valle, municipality San Juan

y Martinez. As a result of this situation, it is decided to analyze the losses in it with the help of software for the Study of Secondary Circuits, developed in the Center for Research and Electrical Testing of Havana. The results obtained fixed the levels of losses in 8,737 MWh / a representing 5.3% and the voltage drops in 15.9 V in the most critical point, both above the established in the legislation in force in the country. A series of actions are also evaluated from the technical point of view in order to be able to apply the most indicated ones that give the greatest decreases in the affected parameters. The best result was obtained by the combination of Circuit Division, Caliber Change, Phase Completion and Balancing, which reduce losses and voltage drops by 4,601 MWh / a and 11 V respectively. From the point of view of saving in Equivalent Tons of Oil or Tons of oil, an average of 1,692 or 1,782 are saved for each year of the 10 that the study has. This reduction in oil consumption means that 3 289,71 kg of toxic gases will stop emitting into the atmosphere, contributing positively to the care of the environment.

Keywords: energy, losses, voltage drops, decrease, savings.

INTRODUCCIÓN

La electricidad es la forma de energía más utilizada hoy en día en la industria y en los hogares, es una forma de energía relativamente fácil de producir

en grandes cantidades, de transportar a largas distancias, de transformar en otros tipos de energía y de consumir de forma aceptablemente limpia. Está presente en todos los procesos industriales y en

prácticamente todas las actividades humanas por lo que se puede considerar hoy en día como un bien básico insustituible (Correa, 2016).

También, este autor hace referencia a lo planteado por Guirado, Asensi, Jurado y Carpio (2006) y señala que para que la electricidad pueda ser utilizada es necesario, como en cualquier otra actividad industrial, un sistema físico que permita y sustente todo el proceso desde su generación hasta su utilización y consumo final. Este sistema es el sistema eléctrico, que se define como el conjunto de instalaciones, conductores y equipos necesarios para la generación, la transmisión y la distribución de la energía eléctrica.

Todo proceso es susceptible de ser evaluado desde el punto de vista de la eficiencia particularmente en los sistemas de distribución de energía eléctrica. Dicho parámetro se evalúa mediante un índice de pérdidas (Mena, 2013).

En Evaluación de Políticas No 002-2017 del Perú, específicamente referido a la evaluación Ex Post del Impacto de la Regulación de las Pérdidas de Energía, se definen las pérdidas de energía en distribución como la diferencia entre la energía ingresada al sistema de distribución y la energía suministrada a los consumidores finales y clasifica además las pérdidas de energía en dos tipos:

pérdidas técnicas y pérdidas comerciales (Vásquez, Vilches, Chávez & Marino, 2017).

Según Pérez-Arriaga (2013), las pérdidas técnicas están compuestas por un componente fijo, asociado al calor que se desprende cuando los transformadores son energizados, y un componente de pérdidas variable que surge debido al calentamiento de los conductores eléctricos mediante los cuales se suministra la electricidad. Esta conversión de energía eléctrica a energía calorífica se denomina efecto Joule.

Las pérdidas técnicas constituyen la energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de ninguna manera, pero que sin embargo pueden ser reducidas a valores aceptables según planes establecidos para dicho efecto. Estas se presentan principalmente por la resistencia de los conductores que transportan la energía desde los lugares de generación hasta llegar a los consumidores (Bajuelos, 2018).

Son un fiel reflejo del estado y la ingeniería de las instalaciones eléctricas, dependen básicamente, del grado de optimización de la estructura del sistema eléctrico, y de las políticas de operación y mantenimiento. Su mayor concentración, es ocasionada por la transmisión de energía eléctrica por medio de conductores, transformadores y otros

equipos del sistema de distribución (Mena, 2013).

A sido una preocupación constante del Sector Eléctrico, el identificar las pérdidas de energía eléctrica para ejecutar un control sobre las mismas, ya que estas representan grandes pérdidas económicas para las Empresas. La disminución de las pérdidas eléctricas se traduce en una mayor disponibilidad de capacidad instalada y menores gastos de operación para un mismo beneficio social y económico de consumo de electricidad, esto implica, a nivel del sector energético, una mayor utilización de energía primaria y una eventual disminución de inversiones en el subsector eléctrico (Vázquez, 2013).

En este sentido, en un sistema eléctrico se tienen pérdidas de energía desde la generación hasta que se entrega a los clientes finales, es decir generación, transmisión, subtransmisión, transformadores de subtransmisión, distribución primaria, transformadores de distribución, distribución secundaria y sistema de medición. En cada uno de estos subsectores eléctricos se producen pérdidas pero en un mayor porcentaje se presentan en el sistema de distribución secundaria, pues la tensión, también denominada voltaje (V) se reduce a los valores de utilización (entre 120 V y 480 V) provocando que circulen altas corrientes por las líneas aumentando el efecto Joule en los conductores.

Espina (2017) coincide con lo dicho por Espinosa (1990) en cuanto a que en todas las compañías de servicio eléctrico el nivel de baja tensión representa el sector más importante sobre el total de las inversiones en sistemas de distribución (al menos 45 %) y es que en la mayoría de las aplicaciones el uso final de la energía eléctrica es precisamente al nivel de tensiones menores que 1 000 V, por lo que cualquier innovación o mejora ahí repercutirá en forma positiva sobre las inversiones de todo el sistema.

Las empresas distribuidoras saben que las pérdidas son algo inevitable, es decir, no existe ningún método que pueda erradicar el 100% de ellas, solo reducirlas. Las pérdidas eléctricas golpean la economía de las empresas, no solo por las propias pérdidas en sí, sino también por el coste de las medidas que se han de tomar para remediarlas, y por el impacto medioambiental que produce la generación adicional de energía para compensar dichas pérdidas, que en ocasiones puede traducirse en penalizaciones (Acero, 2017).

Los criterios básicos para conseguir un diseño optimizado de un subsistema de baja tensión según Gönen (2014) son: *economía*, pérdidas por efecto Joule en el transformador y su circuito secundario, caídas de tensión admisibles, y calidad de tensión en el sistema,

además de otros parámetros como el régimen de carga permisible del transformador, equilibrio de cargas por fase a nivel primario entre otros.

Un elevado nivel de pérdidas técnicas se asocia generalmente con altas caídas de tensión, es decir no llega el voltaje requerido a los consumidores, sobre lo cual Juárez (1995) plantea que, uno de los índices principales de la calidad de la energía eléctrica es el voltaje y, por lo tanto, éste se debe ofrecer al usuario dentro de los límites normalizados. En las líneas de distribución y en otros elementos se presentan caídas de tensión que deben evaluarse con todo cuidado, con el propósito de que en las variaciones normales de carga el voltaje se mantenga dentro del rango normal. Una caída de tensión más allá de 10% causa problemas a los usuarios de la energía eléctrica.

La caída de tensión en las líneas se debe a la corriente de carga que pasa a través de la resistencia y la reactancia de la misma. La caída de tensión puede ser interesante para los casos en que se tienen varias cargas, por ser el caso que se encuentra con mayor frecuencia en los sistemas de distribución (Juárez, 1995).

En el año 2006 el gobierno cubano puso en práctica la política de la Revolución Energética y se adoptó el sistema de coacción eléctrica, esta situación provocó que aumentara la

demanda de energía en el horario pico y por consiguiente mayor circulación de corriente por los conductores, aumentando consecuentemente las pérdidas y caídas de voltaje en los circuitos. Esto obligó a que en cada UEB se trazara un plan de eliminación de zonas de bajo voltaje que no ha concluido hasta hoy.

Esta situación problemática facilitó el desarrollo de la investigación que tuvo como objetivo determinar las acciones técnicas más factibles para reducir los niveles de pérdidas y caídas de voltaje que afectan a los clientes del circuito secundario del JB-287 ubicado en la comunidad Valle perteneciente al municipio de San Juan y Martínez.

MATERIALES Y MÉTODOS

I Etapa: características físicas y mediciones del circuito en estudio.

El punto de partida de todo estudio de pérdidas y caídas de voltaje en un circuito eléctrico de potencia es realizar el plano del mismo. En el se reflejan las características físicas de este, es decir longitud y tipo de conductores, cantidad de fases y consumidores por cada fase, capacidad y ubicación del transformador etc. Además se debe contar con mediciones de las magnitudes eléctricas que imperan en dicha instalación y con estas formar la Curva Cronológica de

Carga Diaria (CCCD), necesaria para determinar los factores que rigen el comportamiento de la carga. Tal propósito se consigue instalando un analizador de redes, equipo configurable capaz de medir y registrar dichas variables con un tiempo de muestreo elegible por el usuario. Para el caso en estudio se utilizó el modelo EP 600 marca Candura de fabricación canadiense y calibrado en la Empresa Eléctrica Pinar del Río.

El circuito secundario en estudio tiene 570 m de línea con conductor de cobre #6 y cobre #4. Está alimentado por un transformador de 50 kVA para servir la carga de 52 clientes residenciales.

Se tomó una muestra de 7 días tomando 60 lecturas por hora, por consiguiente se promediaron las mediciones para formar la CCCD. Esto se hizo de la siguiente forma: se sumaron las 60 muestras de la hora uno del primer día con las 60 muestras de la hora uno de los restantes días y se dividió por la cantidad de muestras (420), así se hizo con las restantes horas del día.

II Etapa: factores que caracterizan la carga.

A partir de las mediciones realizadas se formó la (CCCD) para obtener los factores que caracterizan la carga, en especial el Tiempo Equivalente de Pérdidas (T_e), necesario para desarrollar la corrida de flujos del circuito.

Para determinar el T_e es necesario calcular el Factor de Carga (FC) y el Factor de Pérdidas (F_{Perd}) tomando los datos de la CCCD del circuito.

a) El FC da una idea de cómo se está aprovechando la capacidad instalada en líneas, transformadores y barras, definido por Llamo (2012) como:

$$FC = \text{Carga promedio en el día} / \text{Demanda máxima en el día} \quad [1]$$

$$FC = \text{Prom de los kWT} / \text{kWT max}$$

Donde:

- Carga promedio en el día: Promedio de las cargas (potencias) registradas en cada hora del día.
- Demanda máxima en el día: Máxima demanda registrada en el día.

Como se trabajó con la curva de carga promediada para un día, los cálculos se realizaron tomando como base un período de tiempo de 24 horas.

El Factor de Pérdidas (F_{Perd}) se evaluó a partir de sus relaciones con el FC mediante la fórmula de Bullery-Woddrow, (Llamo, 2012). La expresión matemática de esta ecuación es:

$$F_{Perd} = a \cdot FC^2 + (1 - a) \cdot FC \quad [2]$$

Donde el factor "a" según el tipo de carga es:

Residencial: 0,78-0,70

Industrial: 0,50

Mixta: 0,80

Alumbrado Público: 0,00

Pico Despreciable: 1,00

En la transmisión: 0,70

El Te se refiere a las horas que deben estar conectadas las pérdidas máximas para producir las mismas pérdidas que la carga real con todas sus variaciones (Llamo, 2012).

$Te = FPerd. \text{ horas del día}$
[3]

Conocer dicho tiempo tiene la ventaja de que solo es necesario realizar una corrida de flujos en el horario de máxima demanda obviando las restantes horas del día. Después se multiplica su valor por las pérdidas de potencia calculadas en ese horario, obteniéndose así las pérdidas de energía para el período de tiempo analizado.

III etapa: corrida de flujo.

La corrida de flujo es el proceso mediante el cual se determinan las pérdidas de potencia, energía y caídas de voltaje en cada uno de los componentes del circuito. Para ello se utilizó el software para el Estudio de Circuitos Secundarios (ESEC) desarrollado en el Centro de

Investigaciones y Pruebas Eléctricas (CIPEL) de la Habana y que fue adoptado por la Unión Eléctrica (UNE) para el cálculo de las pérdidas de potencia y energía en los circuitos secundarios.

Los datos del Te, la CCCD y las características físicas y eléctricas del circuito se utilizan como base para el cálculo del software ESEC.

Este software ofrece además, las acciones técnicas posibles a implementar para la introducción de mejoras en los circuitos secundarios de estudio.

Los resultados obtenidos, fueron evaluados a partir de los valores establecidos por el Decreto Ley 1287, Ley Eléctrica, República de Cuba (1975) en su complemento, Reglamento del Servicio Eléctrico.

IV etapa: ahorros obtenidos con las mejoras realizadas.

En esta etapa se utilizó la Metodología para el Cálculo de la Intensidad Energética según (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

Ahorros en Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP)

La intensidad energética es una herramienta para medir de forma comparativa la eficiencia en el uso de los portadores energéticos, aunque no es una

forma de determinar de manera absoluta, si es un elemento importante en la determinación de la eficiencia energética de la entidad en cuestión.

El cálculo de la intensidad energética, se realizó convirtiendo las cantidades de MWh/a ahorrados, en una unidad que se designa como Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP). Su valor equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo, la cual, como varía según la composición de este, se ha tomado un valor convencional de:

41 860 000 000 J (Julios)= 11 630 kWh (kilovatios hora)

El factor de conversión utilizado es $1\text{MWh/a} = 0,3678 \text{ TEP}$.

$\text{TEP} = \text{MWh/a} \cdot 0,3678$ [4]

Ahorro en Toneladas de Petróleo (TP)

Para tener una mejor perspectiva de los resultados se determinó el ahorro obtenido en combustible Diesel a partir del factor de conversión es: $\text{TP} = 1,0534 \text{ TEP}$,

$\text{TP} = 1,0534 \cdot \text{TEP}$ [5]

V etapa: determinación de la disminución de las emisiones de gases a la atmósfera.

González (2015) expresa que a partir de la reducción de las pérdidas de energía, se obtiene la disminución de Gases Tóxicos Emitidos a la Atmósfera (Eg). Atendiendo a criterios de especialistas se estima que por cada MWh generado en una de las centrales termoeléctricas cubanas, se emiten a la atmósfera 715 kg de gases de efecto invernadero.

Entonces:

$\text{Eg} = 715 \text{ kg} \cdot \text{MWh/a}$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La *figura 1* representa la CCCD, perteneciente al circuito secundario del JB-287. Como se observa el tipo de carga es residencial pues tiene los tres picos de demanda característicos: el de la mañana, el del mediodía, y el de la noche. Horarios de mayor consumo de energía en los hogares.

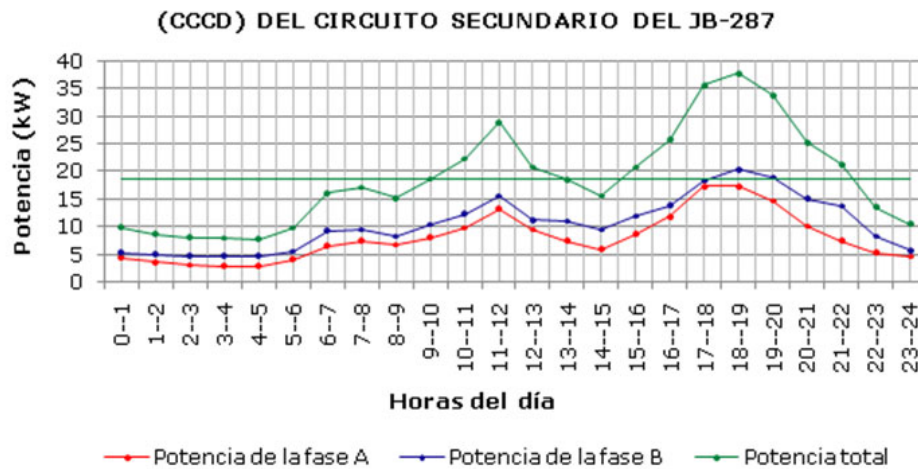


Figura 1: Gráfico de la CCCD del circuito.

Este tipo de carga comprende básicamente los edificios de apartamentos, multifamiliares, condominios, urbanizaciones, etc. Estas cargas se caracterizan por ser eminentemente resistivas (alumbrado y calefacción) y aparatos electrodomésticos de pequeñas características reactivas (Ramírez, 2004).

Según Llamo (2012) en los países subdesarrollados y en desarrollo como es el caso de Cuba, las cargas residenciales son las de mayor peso en la demanda total del sistema eléctrico, porque las cargas industriales están en proceso de desarrollo.

Cálculo de los factores que caracterizan la carga.

A partir de la ecuación [1] para los siguientes valores obtenidos de la CCCD:

Carga promedio en el día = 18,81 kW
Demanda máxima en el día = 37,91 kW

Se obtuvo el factor de carga:

$$FC = 18,81 \text{ kW} / 37,91 \text{ kW} = 0,496$$

El factor de pérdidas (FPerd) se determinó a partir de la ecuación [2], tomando para la constante "a" el valor de 0,7 pues el tipo de carga imperante es residencial.

$$FPerd = 0,7 \cdot 0,496^2 + (1 - 0,7) \cdot 0,496 = 0,321$$

El tiempo equivalente de pérdidas calculado a partir de la ecuación [3] fue:

$$Te = 0,321 \cdot 24 \text{ h} = 7,704 \text{ h/día}$$

Extrapolando el resultado para un periodo de tiempo de un año, pues los cálculos de pérdidas se realizaron en base a ese período.

$$Te = 0,321 \cdot 8760 \text{ h} = 2811,96 \text{ h/año} \approx 2812 \text{ h/año}$$

Resultados de las corridas de flujos.

Los valores de pérdidas de energía por cada elemento del circuito encontrados por el software para la condición actual del circuito fueron:

Acometidas: 0,360 MWh/a

Líneas secundarias: 5,563 MWh/a

Transformador: 2,814 MWh/a

Totales: 8,737 MWh/a

Porcentaje de pérdidas de energía: 5.3

Caída de tensión máxima: 15.9 V

Peor voltaje en el punto más crítico: 105 V

El porcentaje de pérdidas de energía es superior al 3% recomendado para considerar que el circuito es eficiente y el peor voltaje se encuentra en la zona desfavorable, por lo que es necesario realizar acciones técnicas en el mismo para mejorar su eficiencia.

De los resultados mostrados se puede notar que las líneas secundarias y el transformador son los elementos que más pérdidas de energía aportan al total con 5,565 MWh/año y 2,814 MWh/año respectivamente.

En las líneas, estas pérdidas de energía por efecto Joule se pueden minimizar aumentando la conductividad de las mismas. Esto se consigue Cambiando los Calibres (CC) existentes que son malos conductores y además están en mal estado por uno de mejores propiedades conductoras. También se puede disminuir la cargabilidad de los mismos, es decir reducir la corriente de carga que fluye por ellos a través de acciones como Reubicación del Transformador (RT), Divisiones de Circuitos (DC), Transferencia de Cargas (TC), Completamiento de Fases (CF), Balanceo (BI) o la combinación de ellas. En cuanto a las pérdidas de transformación, se valora la posibilidad de Sustituir el Transformador (ST), por otro de mayor o menor capacidad.

Para evaluar el efecto derivado de representar las acciones propuestas por el software se incorporaron dos nuevos factores en las corridas de flujos, un crecimiento esperado de la carga del 1 % para un horizonte de tiempo de 10 años, los resultados se muestran en la *tabla 1*.

Tabla 1: Comparación de las pérdidas calculadas para cada acción de mejora.

Pérdidas (MWh/a), para un horizonte de tiempo de 10 Años y un crecimiento de la carga del 1%											
Acciones	Sin 1%	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Sin Mejora	8,737	8,880	9,026	9,173	9,322	9,472	9,631	9,785	9,956	10,120	10,280
Con CF y BI	8,046	8,175	8,306	8,438	8,572	8,708	8,856	8,995	9,142	9,285	9,440
Con DC, CF, BI	6,085	6,150	6,218	6,289	6,359	6,434	6,508	6,582	6,663	6,740	6,821
Con CC	5,075	5,144	5,213	5,283	5,355	5,427	5,503	5,477	5,657	5,736	5,814
Con CC, CF, BI	4,939	5,005	5,071	5,138	5,207	5,276	5,350	5,421	5,496	5,570	5,648
Con DC, CC, CF, BI	4,730	4,770	4,811	4,852	4,894	4,938	4,982	5,026	5,073	5,120	5,168

Fuente: Elaboración Propia a partir de los datos proporcionados por el ESEC.

Nota: En la tabla solo se muestran las acciones que tuvieron resultados positivos en cuanto a la disminución de las pérdidas.

A partir de los datos mostrados se puede observar que la combinación de mejoras que comprende: división de circuito (DC), cambio de calibre de los conductores (CC), completamiento de fase (CF) y balanceo (BI), es la opción que alcanzó mayor disminución de las pérdidas de energía, pues estas se reducen como promedio 4,601 MWh/a para un total de 46,01 MWh/a al cabo de los 10 años del estudio. El porcentaje de pérdidas se redujo a 2,9.

Es necesario indicar que este cálculo solo tuvo en cuenta la disminución en el circuito secundario propiamente dicho y como este constituye el último segmento del sistema de suministro eléctrico, cualquier acción sobre él repercute en los demás segmentos del Sistema Electroenergético Nacional (CEN).

Quiere esto decir que se obvió la reducción de las pérdidas de generación producidas al generar las pérdidas calculadas, también se despreciaron las de transformación y las ocurridas en las líneas para transportarlas desde la generación hasta la distribución primaria.

Sobre ese aspecto se coincide con los criterios de Espina (2017) y Fink (2006) en cuanto a que el costo de las pérdidas depende del punto en el sistema en el que se producen, además mientras más lejos en el sistema, las pérdidas tienen impacto mayor, debido al efecto acumulado de incrementos de pérdidas cuando pasan por varios elementos del sistema.

Los resultados relacionados con las caídas de voltaje se observan en la tabla 2.

Tabla 2: Comparación de las caídas de tensión por cada acción de mejora

Caídas de Tensión (V), para un horizonte de tiempo de 10 Años y un crecimiento de la carga del 1%											
Acciones	Sin 1%	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Sin Mejora	15,9	16,0	16,2	16,3	16,4	16,5	16,7	16,9	17,0	17,1	17,3
CF y BI	15,4	15,5	15,5	15,8	15,9	16	16,2	16,3	16,5	16,6	16,8
CC	9,8	9,8	9,9	9,9	10,0	10,0	10,1	10,2	12,1	12,1	12,2
CC, CF, BI	9,3	9,3	9,4	9,4	9,4	9,5	9,6	9,6	9,6	9,7	9,8
DC, CF y BI	7,9	8,0	8,1	8,1	8,2	8,3	8,4	8,4	8,5	8,6	8,7
DC, CC, CF y BI	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,6

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por el ESEC

Por lo general los niveles de pérdidas y las caídas de tensión tienen una relación directa. Este criterio se puede corroborar al comparar las *tablas 1 y 2*, donde se deduce que la opción que mas redujo las pérdidas del circuito, es decir la combinación (DC, CC, CF, BI), es la que más disminuyó las caídas de tensión, de valores entre 15V y 17 V a valores entre 4 V y 5 V. O sea se logran disminuir entre 11 V y 12 V.

En este sentido, la DC, no es más que abrir el circuito para formar dos circuitos separados e instalar un nuevo banco de un transformador de 25 kVA. El CC planteado, consiste en sustituir 570 m de conductor Cu # 8, Cu # 6 y Cu # 4, de baja conductividad y en mal estado, por conductor de aluminio AAAC 78 mm² de mejores propiedades conductoras. También se incluye el CF de 70 m de la fase b faltante para facilitar el BI de las cargas logrando emparejar las corrientes que circulan por cada fase y así reducir la que circula por el neutro. Todas estas acciones aportan a la disminución de las pérdidas técnicas del circuito.

Ahorros generados.

A partir del ahorro de energía eléctrica logrado por la mejor opción estudiada y aplicando el factor de conversión se halló el ahorro generado en Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP) por medio de la ecuación [4].

$$\text{TEP} = 1,692 \text{ TEP}$$

O sea se ahorran 1,692 TEP como promedio al año para un total de 16,92 TEP al cabo de los 10 años estimados como horizonte de tiempo.

Llevar el resultado a toneladas de petróleo implica utilizar la ecuación [5].

$$\text{TP} = 1,782 \text{ TP}$$

Se ahorran 1,782 TP como promedio al año para un total de 17,82 TP al cabo de los 10 años estimados como horizonte de tiempo.

Como se aprecia el ahorro en combustible no es muy alto. Sin embargo si se tiene en cuenta que en la UEB Eléctrica de San Juan y Martínez existen

697 bancos de transformadores de los cuales 550 tienen líneas secundarias y en un gran porcentaje de ellos se podría reducir los niveles de pérdidas y caídas de voltaje al realizar acciones como las analizadas anteriormente, entonces el ahorro obtenido sería considerable, más aun si el análisis es a nivel de provincia o de país.

Disminución de las emisiones de gases a la atmósfera.

La disminución de gases tóxicos a la atmósfera obtenida como beneficio se calcula con la ecuación [6].

$$E_g = 3289,71 \text{ kg}$$

Como se aprecia, se dejan de emitir a la atmósfera 3289,71 kg de gases tóxicos como promedio al año, lo que equivale en 10 años a: 32,897 ton.

CONCLUSIONES

La combinación de acciones de mejora más apropiada desde el punto de vista técnico para el circuito analizado fue división del circuito, cambio de calibre de conductores, completamiento de fase y balanceo de carga, por ser la que mayor disminución de las pérdidas técnicas y caídas de voltaje produjo.

En general todas las medidas propuestas constituyen una mejora significativa para incrementar la eficiencia energética del circuito eléctrico del JB-287, dando como resultado un ahorro

para el país desde el punto de vista energético y de recursos financieros, asimismo un importante aporte a la conservación del medio ambiente por las toneladas de gases de efecto invernadero dejadas de emitir a la atmósfera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acero, A. (2017). *Eficiencia energética en infraestructuras eléctricas, red de distribución*. (Tesis presentada en opción al grado de Ingeniero Eléctrico). Leganés, España. Departamento de ingeniería Eléctrica, Universidad Carlos III de Madrid. 24p.

Recuperado de: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27527/TFG_Adrian_Acero_Gonzalez_2017.pdf

Bajuelos, J. L. (2018). *Reestructuración del circuito de distribución primaria de Los Negritos del municipio de Banes*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Eléctrico). Banes, Cuba. Facultad de Metalurgia Electromecánica, Instituto Minero Metalúrgico de Moa, Dr. Antonio Nuñez Jimenez. 15 p.

Recuperado de <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1687/Bajuelosortiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Correa, W. A. (2016). *Evaluación de los procedimientos en el diagnóstico*

- de pérdidas de energía eléctrica implementados por EDEC S.A. (Trabajo de práctica con proyección empresarial o social Para optar el título de Ingeniero Electrónico). Tunja, Colombia. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia. 23 p.
- Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1714/1/TGT-398.pdf>
- Dirección Provincial de Economía y Planificación. (2017). Metodología para el Cálculo de la Intensidad Energética. Pinar del Río.
- González, B. L. (2015). *Factibilidad de las mejoras técnico organizativas en los circuitos de distribución primaria del municipio Pinar del Río*. (Tesis en opción al grado de Máster en Eficiencia Energética). Pinar del Río, Cuba. Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. 64 p.
- Espina, J. (2017). *Hablemos del "secundario" en la distribución de la energía eléctrica*. Recuperado de <https://www.linkedin.com/pulse/hablemos-del-secundario-en-la-distribuci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa-jos%C3%A9>
- Espinosa, R. (1990). *Sistemas de Distribución*. México: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Fink, D. (2006). *Handbook for Electrical Engineers*. New York: McGraw-Hill Professional.
- Gönen, T. (2014). *Electrical Power Distribution System Engineering. Analysis and Design*. Estados Unidos de América: CRC Press.
- Juárez, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. México D.F, México. Editorial Ducere S.A. 55 p.
- Recuperado de http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1231/Sistemas_de_distribucion.pdf?sequence=1
- Lamo, H. S. (2012). *Sistemas Eléctricos I*. Ciudad de la Habana, Cuba. 14-34 p.
- Mena, P. (2013). *Análisis del estado actual de las pérdidas técnicas en circuitos primarios del municipio Manicaragua*. (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Eléctrico). Santa Clara, Cuba. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. p. 9-10.
- Recuperado de <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1777/Pablo%20Mena%20P%C3%A9rez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Energía y Minas (2017). *Metodología para el cálculo de la*

- intensidad energética*. Unión Cuba Petróleo. 4 p.
- Pérez-Arriaga, I. (Ed.) (2013). *Regulation of the Power Sector*. Berlin: Springer.
- Ramírez, S. (2004). *Redes de Distribución de Energía*. Manizales, Colombia. Impreso en el Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia. 11 p.
- Recuperado de [http://bdigital.unal.edu.co/3393/1/958-9322-86-7 Parte1.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/3393/1/958-9322-86-7_Parte1.pdf)
- República de Cuba. Ministerio de Industria Básica (1975). Ley eléctrica 1287:1975. Reglamento del servicio eléctrico. La Habana: Consejo de Ministros Decreto Ley 1287, Ley Eléctrica de Cuba
- Vásquez, A., Vilches, C., Chávez, E., Marino, D. (2017). *Evaluación Ex Post del Impacto de la Regulación de las Pérdidas de Energía en el Perú*. Documento de Evaluación de Políticas N° 002-2017. Gerencia de Políticas y Análisis Económico, Osinergmin, Perú. 5 p.
- Recuperado de [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios Economicos/DEP/Osinergmin-GPAE-Documento-Evaluacion-Policas-002-2017.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/DEP/Osinergmin-GPAE-Documento-Evaluacion-Policas-002-2017.pdf)
- Vázquez, P. M. (2013). *Parametrización, control, determinación, y reducción de pérdidas de energía en base a la optimización en el montaje de estaciones de transformación en la provincia de Morona Santiago*. (Tesis previa a la obtención del Título de Magister en Sistemas Eléctricos de Potencia). Cuenca, Ecuador. Facultad de ingeniería, Universidad de Cuenca. 26 p.
- Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/423/1/Tesis.pdf>
- Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license*